

DAMPAK UKURAN BUTIR NANOPARTIKEL COPPER FERRITE (CuFe_2O_4) TERHADAP SIFAT DIELEKTRIK**Dendi Hari Sulistiyo**

Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Sendawar

Email : dendipolsen@gmail.com**ABSTRACT : EFFECT OF GRAIN SIZE ON DIELECTRIC PROPERTIES OF COPPER FERRITE (CuFe_2O_4) NANOPARTICLES.**

We have studied dielectric properties of copper ferrite (CuFe_2O_4) nanoparticles synthesized by coprecipitation method. X-ray diffraction pattern indicated that all the samples have inverse spinel structure and have particle size in the range 5.37 nm to 13.4 nm estimated by Scherrer equation. The dielectric measurement was conducted by impedance spectroscopy in the frequency range 10–120 kHz using a pellet was compacted by pressure about 50.000 N. Dielectric real constant (ϵ'), imaginary dielectric (ϵ''), and impedance (Z) are decreasing as the frequency increase, while the loss tangent is increasing as the frequency increase. Therefore, study dielectric properties dependence grain size show that the dielectric real part (ϵ'), imaginary part (ϵ'') and impedance decrease while the loss tangent increase as the grain size increase. Sample which has grain size 5.37 nm, show the highest dielectric properties with real dielectric constant 414.4; imaginary dielectric 296.4; loss tangent 0.72, and impedance (Z) 139.8 at frequency 10 kHz.

Key words: *CuFe_2O_4 nanoparticles, dielectric properties, grain size*

ABSTRAK : Dampak Ukuran Butir Nanopartikel Copper Ferrite (CuFe_2O_4) Terhadap Sifat Dielektrik.

Telah dilakukan kajian sifat dielektrik nanopartikel *Copper Ferrit* (CuFe_2O_4) yang disintesis dengan menggunakan metode kopresipitasi. Sampel yang disintesis dikarakterisasi dengan *X-Ray diffraction* (XRD) dan menunjukkan bahwa sampel memiliki struktur *inverse spinel* dengan ukuran butir 5,37 nm sampai 13,4 nm. Pengukuran dielektrik menggunakan spektroskopi impedansi pada rentang frekuensi 10-120 kHz, dimana sampel berbentuk pelet yang dikompaksi dengan menggunakan tekanan 50.000 N. Nilai konstanta dielektrik riil (ϵ'), imajiner (ϵ'') dan impedansi (Z) mengalami penurunan dengan meningkatnya frekuensi, sedang *loss tangent* ($\tan\delta$) mengalami kenaikan dengan meningkatnya frekuensi. Selanjutnya, ketergantungan sifat dielektrik terhadap ukuran butir partikel menunjukkan bahwa nilai konstanta dielektrik riil (ϵ'), imajiner (ϵ'') dan impedansi (Z) mengalami penurunan sedangkan *loss tangent* ($\tan\delta$) mengalami kenaikan dengan meningkatnya ukuran butir. Sampel yang memiliki sifat dielektrik paling tinggi adalah sampel dengan ukuran butir partikel 5,37 nm dimana nilai konstanta dielektrik riil sebesar 414,4; dielektrik imajiner 296,4; *loss tangent* ($\tan\delta$) 0,72 dan impedansi (Z) 139,8 Ω pada frekuensi 10 kHz.

Kata kunci: Nanopartikel CuFe_2O_4 , sifat dielektrik, ukuran butir.

PENDAHULUAN

Nanoteknologi yaitu teknologi pembuatan dan penggunaan material yang memiliki ukuran nanometer dengan skala (1-100 nm) dimana nanometer adalah satuan panjang sebesar satu per triliun meter atau 1 nanometer = 10^{-9} Meter. Dengan ukuran yang sangat kecil material memiliki perubahan karakteristik hal ini dikarenakan adanya peningkatan fraksi atom pada permukaan jika dibandingkan

dengan material yang berukuran *bulk* (Besar) dan juga dipengaruhi oleh dominasi efek kuantum yang berkaitan dengan reduksi dari ukuran butir partikel Lu; salabas; Schuth (2007).

Jenis nanomaterial yang menarik untuk diteliti adalah material ferrit yang memiliki rumus kimia MF_eO_4 (M = Mn, Fe, Co, Ni, Cu) Smith (1996). Secara

umum material ferrit memiliki struktur spinel yang memiliki beberapa keunggulan salah satunya adalah kestabilan kimia yang tinggi sehingga berpotensi untuk diaplikasikan dalam berbagai bidang seperti biomedis, biosensor, elektronik.

Material ferrit MFe_2O_4 merupakan material yang sangat baik hal ini dikarenakan fenomena superparamagnetik yang dimiliki. Salah satu material Ferrit yaitu *Copper Ferrit* (CuFe_2O_4) memiliki struktur invers spinel dengan 8 ion Cu^{2+} pada *site* oktahedral sementara 16 ion Fe^{3+} terdistribusi pada *site* tetrahedral dan oktahedral dalam satu *unit cell* Ali, Iqbal, Ahmad, Jamil, Khan, Amin, and Jafri (2011). CuFe_2O_4 memiliki keunggulan yaitu resistivitas listrik yang tinggi, *loss eddy current* yang rendah, rugi tahanan yang rendah dan stabilitas panas yang tinggi.

Karakteristik yang dimiliki oleh CuFe_2O_4 menunjukkan bahwa CuFe_2O_4 termasuk bahan dielektrik yang baik sehingga berpotensi diaplikasi untuk bahan piezoelektrik, Bahan Kapasitor dan bahan superkapasitor Surendra, Kanan, and Rao, (2011).

Sifat dielektrik suatu material meliputi dielektrik riil (ϵ') dan dielektrik imajiner (ϵ''). Sifat ini dapat diketahui dengan pemberian medan listrik luar pada frekuensi tertentu sehingga menimbulkan adanya perilaku polarisasi Ansar, Atiq, Alamgir, and Nadeem (2014).

Proses polarisasi yang terjadi pada material sangat erat hubungannya dengan struktur kristal, ukuran butir, dan komposisi kimia. Derajat kristalinitas akan mempengaruhi laju polarisasi dengan adanya medan listrik luar. Disamping itu, pergerakan elektron dalam suatu material sangat dipengaruhi oleh ukuran butir partikel. Peningkatan resistansi terjadi karena menurunnya ukuran partikel yang disebabkan oleh pertumbuhan batas butir (*Insulator*) dan kontribusi dari lapisan permukaan yang kolinier. Faktor lain yang sangat mendasar menjadi tolak ukur dalam sintesis material dielektrik adalah komposisi kimia yang digunakan yang memiliki perbedaan sifat, satu dengan yang lain.

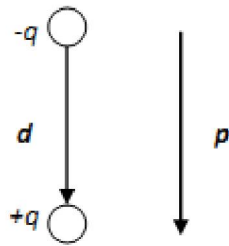
Ukuran butir suatu material dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya metode sintesis, temperatur, konsentrasi prekursor, konsentrasi kopresipitan, laju sintesis, waktu sintesis dll. Dalam penelitian ini telah disintesis nanopartikel CuFe_2O_4 dengan metode kopresipitasi dengan variasi sehingga menghasilkan variasi ukuran butir Partikel. Perbedaan beberapa ukuran butir partikel yang dirancang akan dipelajari pengaruhnya terhadap pengukuran sifat dielektrik menggunakan spektrometer impedansi terkomputerisasi dengan rentang frekuensi sebesar 10-120 kHz.

LANDASAN TEORI

Material dielektrik adalah material yang dapat menaikkan kapasitas kapasitor jika material tersebut ditempatkan di antara dua pelat kapasitor dan diberikan medan listrik luar Puri, and Babbar, (1997). Pada dasarnya bahan dielektrik merupakan bahan isolator yang secara umum tidak memiliki pembawa muatan bebas untuk konduksi. Meski demikian, bahan dielektrik berisi muatan-muatan positif dan negatif yang terikat bersama dan dapat dipengaruhi oleh medan luar.

Material dielektrik dibagi menjadi dua yaitu material polar dan non polar. Material polar adalah material yang mempunyai momen dipol permanen, tanpa adanya medan listrik luar. Momen dipol ini muncul karena susunan muatannya yang tidak simetri. Material non polar adalah material yang tidak mempunyai momen dipol permanen, karena susunan muatannya yang simetris sehingga saling meniadakan. Momen dipol akan muncul ketika terkena medan listrik luar, karena medan luar tersebut cenderung untuk meregangkan molekul-molekul dengan hampir tidak memisahkan pusat muatan positif dan negatif.

Dipol listrik didefinisikan sebagai suatu kesatuan yang tersusun dari dua muatan berlawanan tanda dan memiliki besar yang sama yaitu q dan $-q$.

**Gambar .1** Dipol listrik

Besarnya momen dipol listrik \vec{p} dapat dirumuskan sebagai berikut:

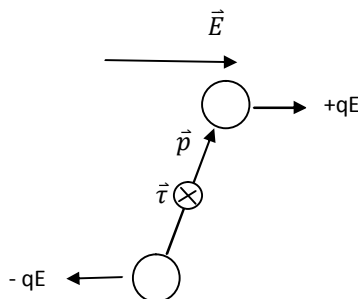
$$\vec{p} = q\vec{d}$$

\vec{d} adalah vektor jarak dari muatan negatif $-q$ ke muatan positif $+q$. Momen dipol listrik sama dengan besar salah satu muatan dikalikan dengan jarak antara kedua muatan tersebut.

Suatu dipol jika diberikan medan listrik luar, maka dipol tersebut akan berinteraksi dengan medan dan menimbulkan torka $\vec{\tau}$ yang dirumuskan sebagai berikut:

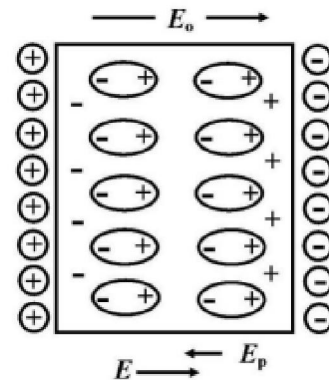
$$\vec{\tau} = \vec{p} \times \vec{E}$$

dimana besarnya torka adalah $\tau = pE \sin \theta$, dengan θ adalah sudut antara arah medan \vec{E} dengan arah momen \vec{p} . Arah torka $\vec{\tau}$ cenderung menyearahkan dipol dengan arah medan.

**Gambar. 2** Torka yang ditimbulkan dipol akibat medan listrik

Polarisasi material yaitu penyearahan muatan positif dan negatif dari posisi setimbang yang disebabkan oleh pemberian medan listrik luar E_0 pada bahan dielektrik. Jarak yang dibentuk dalam penyearahan ini sangat kecil (kurang dari diameter atom) dan penyearahan ini akan membentuk sejumlah besar dipol dengan momen dipol yang searah dengan arah medan. Definisi polarisasi juga dapat diartikan sebagai momen dipol per satuan volume dari material. Dimana efek polarisasi

menunjukkan bahwa resultan medan \vec{E} lebih kecil dari medan luar yang diberikan \vec{E}_0 , $\vec{E} < \vec{E}_0$. Hal ini dikarenakan adanya medan polarisasi \vec{E}_p yang cenderung berlawanan arah dengan medan luar.

**Gambar.3** Keping dielektrik yang diletakkan pada medan listrik luar E_0

Secara umum, nilai permitivitas ϵ , atau disebut juga konstanta dielektrik, merupakan hasil kali antara permitivitas vakum dengan permitivitas relatifnya (yakni $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$). Besaran tersebut menunjukkan peristiwa penyearahan dipol – dipol penyusun material terhadap medan listrik luar \vec{E} yang bekerja padanya, sehingga material tersebut mengalami polarisasi \vec{P} . Medan listrik AC merupakan medan yang berosilasi, sehingga terjadi pergeseran medan-medan \vec{E} dan \vec{D} yang mengakibatkan adanya komponen arus yang hilang atau *dissipasi* energi. Konstanta dielektrik relatif dari suatu material dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\epsilon_r = \epsilon_r' + i\epsilon_r'',$$

dengan ϵ_r' adalah komponen riil konstanta dielektrik yang berhubungan dengan kemampuan material untuk menyimpan energi dan sifat optiknya, sedangkan ϵ_r'' adalah bagian imajiner konstanta dielektrik, yang menentukan jumlah energi yang hilang (terdissipasi) menjadi panas Barsoukov, dan Macdonald, (2005).

METODE PENELITIAN

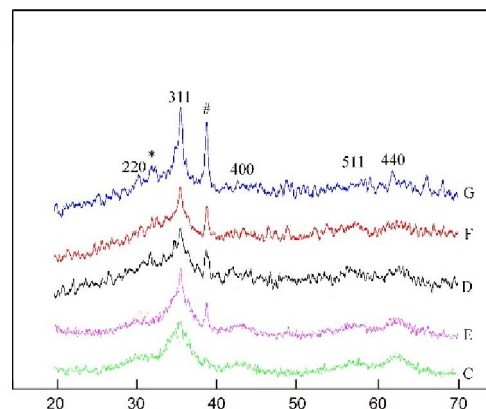
Sintesis nanopartikel CuFe_2O_4 dilakukan dengan metode kopresipitasi menggunakan prekursor utama $\text{CuCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ sebagai penyedia ion Cu^{2+} dan $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ sebagai penyedia ion Fe^{2+} . Perbandingan mol prekursor yang digunakan adalah 1:2. NaOH digunakan sebagai kopresipitan, sementara katalisnya menggunakan HCl.

Langkah awal yang dilakukan dalam sintesis ini mempersiapkan $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ sebanyak 2,65 gram, $\text{CuCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 1,75 gram dengan perbandingan 1:2 dan HCl 3,37 mL. Ketiga bahan tersebut dicampur menjadi satu dan dimasukkan secara perlahan menggunakan pipet ke dalam 100 mL larutan NaOH. Hasil dari campuran divariasi pada konsentrasi tertentu dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* di atas *hot plate* dengan suhu dan durasi pengadukan tertentu.

Percobaan diulangi beberapa kali dengan variasi tertentu dan setelah terbentuk endapan, pisahkan endapan dengan larutannya. Kemudian dicuci endapan dengan aquades beberap kali pengulangan untuk meminimalisir garam terlarut yang masih tertinggal pada endapan. Untuk memperoleh serbuk CuFe_2O_4 maka endapan dikeringkan dalam *furnace* pada suhu 90°C selama 4 jam kemudian dilanjutkan dengan proses karakterisasi menggunakan, *X-Ray Diffraction* (XRD) dan Pengukuran sifat dielektrik menggunakan sistem spektroskopi impedansi pada frekuensi 10 – 120 kHz.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kelima Material hasil sintesis nanopartikel dengan metode kopresipitasi di uji dengan XRD sebagi berikut:



Gambar. 4 Hasil XRD pada lima material

Kelima material memiliki bidang yang sesuai dengan indeks bidang yang dimiliki CuFe_2O_4 pada data standar JCPDS 25-0283 yaitu indeks bidang (220), (311), (400), (511), (440). Selain fasa CuFe_2O_4 juga terdapat fasa non CuFe_2O_4 . Munculnya fasa non CuFe_2O_4 (#) diprediksi karena hasil dari proses oksidasi CuFe_2O_4 .

Untuk mengetahui ukuran butir partikel pada sampel CuFe_2O_4 digunakan rumus Scherrer pada puncak tertinggi (311), dapat dilihat pada persamaan:

$$t = \frac{k\lambda}{B \cos \theta}$$

Dimana t adalah ukuran rata-rata kristalit, k merupakan konstanta Scherrer (0,9), λ adalah panjang gelombang sinar-X yang digunakan, dan B adalah lebar setengah puncak maksimum difraksi atau *Full Width Half Maximum* (FWHM) dalam radian, dan θ adalah posisi puncak difraksi. Hasil analisis XRD sebagai berikut:

Tabel 1. Hasil analisa kelima material dengan XRD

Material	Parameter Kisi (Å)	Ukuran Butir partikel (nm)
C	8,404	5,37

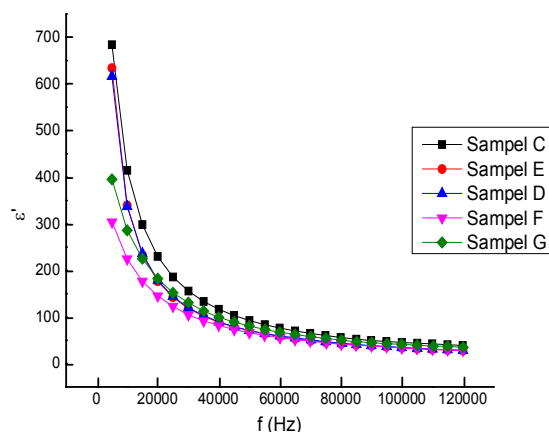
E	8,404	6,60
D	8,404	7,74
F	8,404	11,70
G	8,404	13,40

Respon Konstanta dielektrik (ϵ' dan ϵ'') terhadap perubahan frekuensi

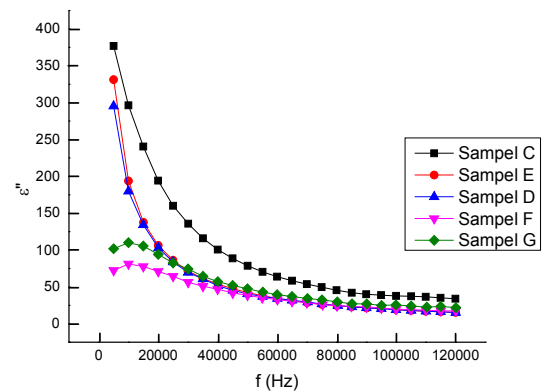
Kelima Material nanopartikel CuFe_2O_4 diuji konstanta dielektriknya (ϵ' dan ϵ'') dengan perubahan frekuensi pada rentang 10 – 100 kHz. Hasil pengukuran yang dilakukan dari kelima material diperoleh sebagai berikut :

Tabel 2. Hasil pengukuran kelima material dengan menggunakan spektrokopi impedansi pada frekuensi 10-100 kHz

Ukuran butir	ϵ'			ϵ''		
	10 kHz	50 kHz	100 kHz	10 kHz	50 kHz	100 kHz
5,37	414,4	92,3	45,5	296,4	78,7	37,8
6,60	356,6	45,8	23,2	219	18,3	8,4
7,74	318,6	46,4	20,9	179,8	17,8	71,6
11,70	224,4	66,4	33,6	81,3	38,8	19,9
13,40	285,7	80,7	41,7	110	47,5	25,6



Gambar. 5 Grafik konstanta dielektrik riil (ϵ') terhadap frekuensi pada kelima sampel



Gambar. 6 Grafik konstanta dielektrik Imajiner (ϵ'') terhadap frekuensi pada kelima sampel

Nilai konstanta dielektrik riil dan imajiner terhadap perubahan frekuensi terlihat menurun dan cenderung konstan dengan bertambahnya frekuensi. Pada frekuensi 10 kHz nilai konstanta dielektrik riil dan imajiner sangat tinggi. Hal ini dapat terjadi karena pada frekuensi rendah terjadi fenomena dispersi dielektrik. Fenomena dispersi dielektrik tersebut bisa terjadi akibat adanya polarisasi batas permukaan (*interfacial polarization*) Maxwell-Wagner yang sesuai dengan teori fenomenologi Koop.

Berdasarkan model fenomenologi Koop, material dielektrik dalam hal ini nanopartikel CuFe_2O_4 bisa diasumsikan terdiri dari butir-butir partikel konduktif dan dibatasi oleh batas butir yang bersifat non konduktif. Pemberian medan listrik pada frekuensi rendah akan lebih dominan mempengaruhi batas butir non konduktif yang mengakibatkan terjadinya pergeseran muatan yang akan menghasilkan polarisasi. Selanjutnya meningkatnya frekuensi hingga mencapai frekuensi kritis tertentu, dimana frekuensi dapat menembus batas butir dan mencapai butir konduktif, yang tidak menyumbangkan polarisasi, dan dampaknya konstanta dielektrik yang terukur rendah. Disisi lain pada frekuensi ≥ 80 kHz perubahan konstanta dielektrik tidak signifikan dan

cenderung kostan, yang diakibatkan pergeseran muatan tidak dapat mengikuti perubahan frekuensi medan listrik.

Pada gambar 6 terlihat sampel F dan G pada frekuensi sekitar 10 kHz terjadi adanya puncak. Puncak ini menunjukkan nilai maksimum dari dielektrik imajiner pada saat polarisasi. Nilai maksimum dielektrik imajiner berada pada frekuensi 10 kHz disebut frekuensi relaksasi yang dapat dijelaskan menggunakan teori Debye. Menurut teori Debye mensyaratkan bahwa nilai ϵ'' akan mencapai maksimum ketika $\omega\tau = 1$.

Dari hasil pengukuran dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin besar nilai ukuran butir menyebabkan penurunan pada nilai konstanta dielektrik. Fenomena tersebut karena perubahan ukuran suatu material ke orde nanometer akan mengakibatkan fraksi jumlah atom yang menempati permukaan partikel meningkat, dengan demikian muatan permukaan yang tersedia juga semakin besar. Diasumsikan suatu partikel memiliki jari-jari r , dapat terlihat bahwa luas permukaan partikel diskalakan oleh radius-radiusnya berupa r^2 , dan volumenya diskalakan oleh r^3 . Sehingga fraksi jumlah atom yang menempati permukaan partikel merupakan perbandingan luas permukaan terhadap volume yaitu :

$$F = \frac{A}{V} = \frac{6r^2}{r^3} = \frac{6}{r}$$

Dari persamaan diatas dapat dijelaskan bila jari-jari partikel r diperkecil, maka fraksi jumlah atom yang terdapat di permukaan partikel akan semakin meningkat. Sehingga pada penelitian ini fraksi jumlah atom dan jumlah muatan permukaan terbesar dimiliki oleh sampel dengan ukuran butir 5,37 nm. Dimana besarnya polarisasi sebanding dengan banyaknya dipole (M) sedangkan dipol dipengaruhi oleh banyaknya jumlah atom, sehingga besarnya polarisasi sebanding dengan medan polarisasi bahan dielektrik.

semakin kecil ukuran partikel maka jumlah atom yang menempati suatu volume tertentu akan semakin banyak sehingga polarisasinya semakin besar. Teori ini sesuai dengan hasil yang diperoleh pada penelitian, semakin kecil

ukuran butir maka konstanta dielektrik baik riil maupun imajiner lebih besar.

KESIMPULAN

Ukuran butir pada nanopartikel CuFe_2O_4 memberikan pengaruh terhadap sifat dielektriknya, dimana konstanta dielektrik riil, imajiner semakin menurun dengan meningkatnya ukuran butir. Nilai konstanta dielektrik riil dan imajiner dari kelima material terhadap perubahan frekuensi menurun dan cenderung konstan dengan bertambahnya frekuensi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, K., Iqbal, A., Ahmad, M. R., Jamil, Y., Khan, S. A., Amin, N., and Jafri, M. Z. M., 2011, 'Structural Characterization Of CuFe_2O_4 Nanocomposites And Synthesis By An Economical Method', *Sci.Int (Lahore)*, Vol. 23(1), pp. 21-22
- Thakur, A, Mathur, P, and Singh, M, 2006, 'Study of dielectric behavior of Mn ZN Nano ferrites', *Journal of physics and Chamistry of solids*, Vol. 68, pp. 378-381
- Ansar, M. Z., Atiq, S, Alamgir, K., and Nadeem, S., 2014. 'Frequency and Temperature Dependent Dielectric Response of Fe_3O_4 ', *J.Sci.Res*, Vol. 6(3), pp. 399-406
- Barsoukov, E., dan Macdonald, J.R., 2005, 'Impedance Spectroscopy Theory, Experiment, and Applications', 2nd edn, John Wiley & Sons Inc., Canada.
- Böttcher, C.J.F., 1952, 'Theory of Electric Polarisation', Elsevier Publishing Company, New York.
- Chauhan, S., Ojha, C., and Shrivastava, A. K., 2009, 'Synthesis and characterization of CuFe_2O_4 Nanoparticles', *International Journal of Theoretical and applied sciences*, Vol.I(2), pp. 9-11

- Din, I, A., Tasleem, S., Naeem, A., Shaharun, M. S., and Al Kaisy, G. M. J., 2013, 'Zinc Ferrit Nanoparticle Synthesis and Characterization, effect of Annealing Temperature on the size of nanoparticles', *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, Vol. 7, pp. 154-162.
- Gupta, A.K., and Gupta, M., 2004, 'Synthesis and surface engineering of iron oxide nanoparticles for biomedical applications', *Biomaterial*, Vol. 26, pp. 3995-4021
- Halliday, D., Resnick, R., and Walker, J., 2011, 'Fundamental of Physics', vol. 2, 9th edn, John Wiley & Sons, Inc., Canada.
- Iqbal, M. J., Yaqub, N., Sepiol, B., and Ismail, B., 2011, 'A study of The Influence of Crystallite Size On The Electrical and Magnetic Properties Of CuFe_2O_4 ', *Material Research Bulletin*, Vol. 46, pp. 1837-1842
- Kader, S. S., Paul, D. P., and Hoque, S. M., 2014, 'Effect Temperature on The Structure and Magnetic Properties of CuFe_2O_4 Nanoparticle Prepared by Chemical Co-preparation Method', *International Journal of Materials, Mechanics and Manufacturing*, Vol. 2, no 1
- Kanagaraj, M., Sathishkumar, P., Selvan, G.K., Kokila, I.P., and Arumugam, S., 2014, 'Struktur and Magnetic Properties Of CuFe_2 Treated Spinel Nanoferrites', *Indian Journal of Pure &Applied Physics*, Vol.52, pp124-130
- Kumar, E.R., Jayaprakash, R., Sheehra, M.S., Prakash, T., and Kumar, S., 2013, 'Effect of $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ Phase on Structural, Magnetic, and Dielectric Properties of Mn-Zn Ferrite Nanoparticles', *Journal of Physics and Chemistry of Solid*, 74, 943 – 949.
- Lu, A.H., Salabas, E.L., and Schuth, F., 2007, 'Magnetic Nanoparticles: synthesis, Protection, Functionalization, and Application', *Angew. Chem. Int. Ed*, Vol. 46, pp. 1222-1244
- Puri, R.K., and Babbar, V.K., 1997, 'Solid State Physics', S.Chand & Company Ltd, New Delhi.
- Shinde, T.J., Gadkari, A.B., and Vasambekar, P.N., 2012, 'Structure and Dielectric Properties of Nanocrystalline Nd^{3+} Substituted Nickel – Zinc Ferrites', *J Mater Sci: Mater Electron*, Vol. 23, pp. 697-705.
- Smallman, R.E., dan Bishop, R.J., 1999, 'Modern Physics Metallurgy and Materials Engineering', Great Britain, Bath Press.
- Smith, W.F., 1996, 'Principle of Materials Science and Engineering', United States of America: McGraw-Hill, Inc.
- Surendra, M.K., Kanan, D., and Rao, M.S.R., 2011. 'Magnetic and Dielectric Properties Study of Cobalt Ferrite Nanoparticles Synthesized by Co-precipitation Method', *Mater. Res. Soc. Symp. Proc.*
- Suvarna, R.P., Rao, K.R., and Subbarangaiah, 2002, 'A Simple Technique for A.C. Conductivity Measurements', *Bull. Mater. Sci.*, Vol.25, pp 647-651.